



University of Groningen

## Experimental studies on reflectance pulse oximetry

Dassel, Anne Catherina Maria

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

### *Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

### *Publication date:*

1997

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

### *Citation for published version (APA):*

Dassel, A. C. M. (1997). Experimental studies on reflectance pulse oximetry: specific aspects of intrapartum fetal monitoring. s.n.

### **Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

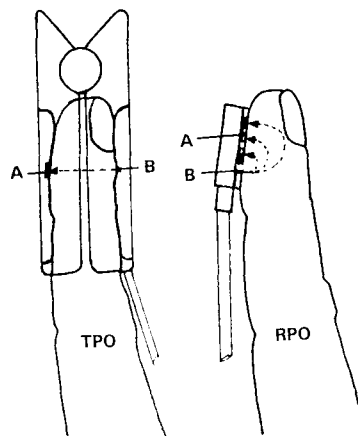
### **Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

## Samenvatting en conclusies

Pulsoxymetrie, of pulsatieoxymetrie, is een methode om door middel van twee kleuren licht de zuurstofverzadiging van het arteriële (slagaderlijke) bloed te meten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de eigenschap dat hemoglobine en oxy-hemoglobine rood (R) en infrarood (IR) licht verschillend absorberen. Hemoglobine is de stof in rode bloedcellen die zuurstof kan binden; het wordt oxy-hemoglobine genoemd wanneer het zuurstof heeft gebonden. Meestal wordt in de pulsoxymetrie R en IR licht gebruikt met golflengten van respectievelijk 660 nm en 940 nm. Door LED's (light emitting diodes) wordt het licht in de huid en de onderliggende weefsels gezonden. Van het uittredende R en IR licht wordt de intensiteit als functie van de tijd gemeten. Bij *pulsatieoxymetrie* gaat men ervan uit dat slechts het bloed in slagaders pulseert. Alleen het pulserende deel van het signaal van de detector wordt verwerkt. Hieruit kan de verhouding van de relatieve lichtintensiteit van het rode en het infrarode licht (R/IR) berekend worden. Via een ijklijn kunnen de R/IR waarden gerelateerd worden aan de arteriële zuurstofverzadiging ( $S_aO_2$ ), waarbij een hoge R/IR duidt op een lage  $S_aO_2$  en omgekeerd. Deze ijklijnen worden empirisch bepaald.



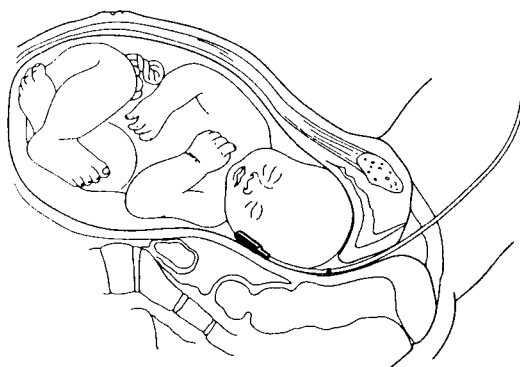
Figuur 1. Schematische weergave van de weg die het licht aflegt tussen de lichtbron (B) en de detector (A). Bij TPO, transmissie-pulsoxymetrie, bevinden zich de lichtbronnen en de detector(en) tegenover elkaar en bij RPO, reflectie-pulsoxymetrie, naast elkaar.

Er zijn twee soorten pulsoxymeters. De eerste, die al meer dan 15 jaar in allerlei klinische situaties wordt gebruikt, is de **transmissie-pulsoxymeter** (TPO). Bij transmissiepulsoxymetrie bevindt zich in de sensor de lichtbron aan de ene kant van een lichaamsdeel en de detector aan de andere kant en wordt het doorvallende licht gemeten (Fig 1). Bij volwassenen wordt de sensor meestal op een vinger of een teen geplaatst, soms op een oor of op de neus. Bij pasgeborenen wordt de sensor om een handje of een voetje aangebracht. De tweede is de **reflectie-pulsoxymeter** (RPO), waarbij de lichtbron en de detector zich naast elkaar in de sensor bevinden en het terugkomende licht gemeten wordt (Fig 1). In principe kan de sensor op iedere plaats van het lichaam worden geplaatst.

In Nederland is het niet gebruikelijk een kind tijdens een normale bevalling meer te bewaken dan door regelmatig naar de harttonen te luisteren. Soms is het nodig het kind tijdens de bevalling extra te bewaken. Dit is bijvoorbeeld het geval bij kinderen die te vroeg of te laat geboren worden, die achter zijn gebleven in groei, bij meconiumhoudend vruchtwater, bij niet-vorderende uitdrijving of indien er afwijkende harttonen worden gehoord. Tot nu toe wordt het kind tijdens de bevalling, indien noodzakelijk, bewaakt door continu de hartslagfrequentie te meten, eventueel tegelijk met de druk in de baarmoeder: door middel van het cardiotocogram (CTG). Hierbij wordt een electrode op het hoofd of de stuit van het kind aangebracht en een slangetje in de baarmoeder geschoven zodra er enige ontsluiting is. Indien er sprake is van foetale bedreiging, is 90% van de CTG's afwijkend. Is er echter sprake van een afwijkend CTG, dan is er in 60% van de gevallen achteraf géén foetale nood geweest. Het CTG als bewakingsmethode heeft als nadeel dat er dikwijls onnodig wordt ingegrepen in het natuurlijk verloop van de bevalling; er wordt een vacuüm- of tangverlossing verricht of een keizersnede. Als aanvullend onderzoek op het CTG kan een druppel bloed uit de hoofdhuid worden afgenomen en geanalyseerd (MBO, microbloedonderzoek). Dit is een vervelende ingreep, zowel voor de moeder als voor het kind. Het vereist een goede logistiek om bloed voor MBO goed af te nemen en de bepaling te doen; bovendien is het een momentopname. In hoofdstuk 1 staat beschreven welke bewakingsmethoden gangbaar waren, het zijn en welke in ontwikkeling zijn.

Wij hebben een reflectiepulsoxymeter ontwikkeld om een kind tijdens de bevalling beter te kunnen bewaken. Tijdens de bevalling is het voorliggende kindsdeel meestal het hoofd. Hierop kan geen transmissie-pulsoxymetersensor worden

aangebracht en is een reflectie-pulsoxymetersensor nodig (Fig 2).



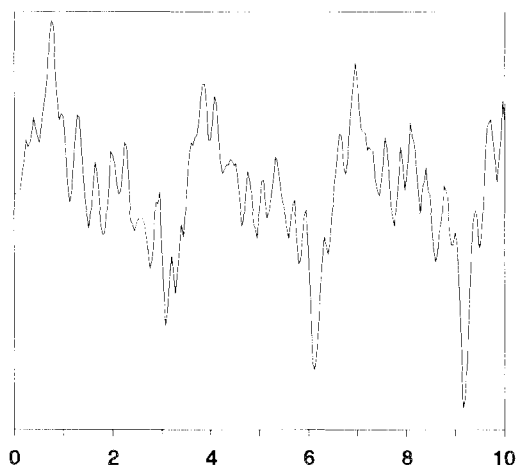
Figuur 2. Weergave van een mogelijke plaats van de sensor op het hoofdje van de foetus tijdens de partus.

De toepassing van RPO ten behoeve van foetale bewaking tijdens de partus brengt enkele specifieke problemen met zich mee vanwege de bijzondere meetomstandigheden. Deze problemen kunnen als volgt worden samengevat.

1. De  $S_aO_2$  is bij de foetus veel lager dan bij de volwassene. Wordt bij de gezonde volwassene een  $S_aO_2$  gemeten van 95-100%, bij de foetus ligt de  $S_aO_2$  onder normale omstandigheden waarschijnlijk tussen de 30 en 80%. Daarbij varieert de foetale  $S_aO_2$  meer dan die van volwassenen. De ijklijn die voor volwassenen is opgesteld, voor saturaties tussen de 70% en 100%, kan dus niet voor foetale metingen worden gebruikt. Bij de foetus is het praktisch gezien onmogelijk om arteriële bloedmonsters af te nemen om de pulsoxymeter te ijken, althans bij de mens. Daarom bestaat er ook geen ijklijn over een groot  $S_aO_2$  bereik voor de mensenfoetus. Hier kunnen dierexperimenten uitkomst bieden.
2. De amplitude van de foetale pulsaties is klein ten opzichte van die van volwassenen. Wanneer bij transmissie-pulsoxymeters de amplitude van de infrarode pulsatie kleiner is dan 0,2%, wordt door het apparaat de waarschuwing "Low quality signal" afgegeven. De amplitude van het infrarode signaal dat wij konden meten bij foetale lammeren kwam gemiddeld niet boven 0,2% van de totale op de detector gemeten hoeveelheid licht (Fig 4). Soortgelijke observaties werden gedaan tijdens metingen bij gezonde pasgeborenen.
3. De druk op de sensor en op de huid rond de sensor is variabel, doordat de sensor

klem ligt tussen het voorliggende kindsdeel en het baringskanaal. Daarbij veroorzaakt het baringskanaal stuwning in de huid onder de sensor, waardoor zelfs volledige afsluiting van de bloedvaten in de huid kan optreden. Tijdens de bevalling kan er dus zowel een verandering in de doorbloeding van het weefsel onder de sensor optreden als een verandering in de positie van de sensor, waardoor er gemeten gaat worden in weefsel met een andere samenstelling. Een andere weefselsamenstelling gaat gepaard met andere optische eigenschappen.

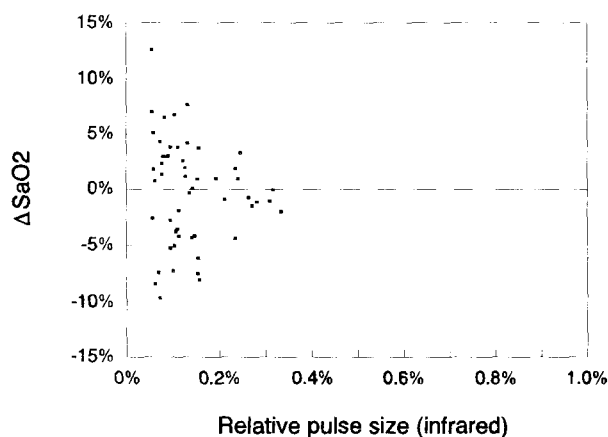
Het doel van de huidige studie was het onderzoeken van de specifieke aspecten van foetale reflectie-pulsoxymetrie tijdens de partus. Voor deze onderzoeken werd de Groninger reflectie-pulsoxymeter gebruikt, zoals die beschreven wordt in het eerste hoofdstuk. De sensor heeft drie detectoren, die geplaatst zijn op verschillende afstanden van de LED's. Met deze drie detectoren wordt simultaan gemeten. Tijdens de metingen worden het rode en het infrarode signaal op het computerscherm weergegeven en worden de gegevens in de computer opgeslagen om ze achteraf te kunnen verwerken. Voor het onderzoek dat in dit proefschrift is beschreven, werden metingen verricht bij foetale lammeren, bij pasgeboren kinderen en bij volwassen vrijwilligers.



Figuur 3. Het effect van beademing van de ooi op het reflectie-pulsoxymeter signaal bij het foetale lam (IR plethysmogram, 10 sec). Soortgelijke effecten werden gezien bij beademde pasgeboren kinderen.

In hoofdstuk 2 worden de experimenten beschreven die werden uitgevoerd bij bijna voldragen foetale lammeren om een ijklijn te verkrijgen voor de Groninger reflectie-pulsoxymeter. De drachtige ooi werd onder narcose gebracht en beademd. Door de hoeveelheid zuurstof in het beademingsgasmengsel van de moeder te variëren, varieerde ook de hoeveelheid zuurstof in het foetale bloed. De bloeddruk en de bloedgasen werden regelmatig gecontroleerd. Door middel van een keizersnede werd het kopje en de rechter voorpoot van het lam buiten de baarmoeder gehaald. De RPO sensor werd op de kop geplaatst en uit een slagader van de rechter voorpoot werden bloedmonsters afgenomen. Tijdens de experimenten werd de invloed van maternale beademing (Fig 3) op de foetale signalen duidelijk, evenals het effect van foetale beweging en afkoeling.

Tijdens stabiele periodes werden RPO metingen verricht en tegelijkertijd werden foetale bloedmonsters genomen waarin onder andere de  $S_aO_2$  werd gemeten. Deze varieerde tussen de 15 en 80 %. Uit de gemeten signalen werd R/IR berekend en deze werd uitgezet tegen de arteriële zuurstofverzadigingswaarden van de foetale bloedmonsters. Ondanks het feit dat de metingen onder goed controleerbare omstandigheden werden verricht, waren de pulsaties klein en was de signaal-ruis-verhouding ongunstig. We vonden dat de fout in de voorspellende waarde van de RPO metingen toenam wanneer de relatieve grootte van de pulsaties afnam (Fig 4).



Figuur 4. Het verband tussen de grootte van de pulsaties en de betrouwbaarheid van de voorspelde arteriële zuurstofverzadiging (berekend uit de gemeten R/IR waarde) bij foetale lammeren.  $\Delta S_aO_2 = (\text{gemeten } S_aO_2 - \text{berekende } S_aO_2)$ .

Zowel bij foetale lammeren als bij volwassenen zagen we dat de R/IR veranderde wanneer er druk werd uitgeoefend op de sensor, terwijl de werkelijke arteriële zuurstofverzadiging niet veranderde. Tijdens de bevalling kan de druk die uitgeoefend wordt op de sensor aanzienlijk variëren. Daarom werden de effecten van druk op de sensor onderzocht, waarbij de sensor bij volwassenen midden op het voorhoofd was geplaatst. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 5. Met toenemende druk op de sensor nam de variabiliteit in gemeten R/IR tussen de personen af, tegelijkertijd nam de grootte van de gemeten pulsaties toe. Bij de pasgeboren kinderen daarentegen, was het effect van druk op de sensor veel minder groot (hoofdstuk 6); de variabiliteit verminderde niet duidelijk en de pulsaties bleven klein. Dat het effect van druk op de sensor bij volwassenen en kinderen anders is, kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan verschillen in weefsel-, bloedvat- en bloedeigenschappen.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten van een ander onderzoek bij foetale lammeren weergegeven. Onderzocht werd wat het effect op R/IR is van circulaire druk op de huid rond de RPO sensor. Tijdens de bevalling wordt circulaire druk uitgeoefend op het voorliggende kindsdeel door het baringskanaal. Tot een circulaire druk van 80 mmHg, ongeveer even hoog als de foetale bloeddruk, bleven de RPO metingen min of meer dezelfde. Bij een verdere stijging van de circulaire druk ( $> 80$  mmHg), waarbij de arteriële doorbloeding van de huid volledig geblokkeerd is, was het nog steeds mogelijk om een pulsatiel rood en infrarood signaal te meten. Onder deze omstandigheden werd een hogere R/IR waarde gevonden. De resultaten van dit onderzoek naar het effect van druk *rond* de sensor toonde bij foetale lammeren een opvallende overeenkomst met die van het onderzoek naar het effect van druk *op* de sensor bij pasgeboren kinderen (hoofdstuk 6). In beide gevallen wordt de doorbloeding van de huid onder de sensor geblokkeerd, maar blijft het mogelijk om pulsatiele signalen te meten met RPO. We concludeerden dat onder deze omstandigheden de RPO signalen afkomstig moeten zijn van onder de schedel, mogelijk van bloed in bloedvaten op of in het hersenweefsel.

Tijdens foetale RPO is het vaak niet mogelijk de exacte lokatie van de sensor op het voorliggende kindsdeel vast te stellen. Daarbij zal de sensor tijdens de bevalling waarschijnlijk ook nog van plaats veranderen, indien de sensor niet aan de huid van de foetus wordt gefixeerd. Daarom is het van belang te weten of er verschil is in R/IR waarden indien de meting op een andere plaats wordt verricht, bij een gelijk blijvende arteriële zuurstofverzadiging. Dit wordt in hoofdstuk 3 beschreven. Daarbij is het van

belang te weten op welke plaats de beste RPO signalen gemeten kunnen worden, temeer daar de signalen afkomstig van het foetale hoofd erg klein zijn. Bij gezonde pasgeborenen werden acht plaatsen bestudeerd, elk met een andere weefselsamenstelling. De signalen die afkomstig waren van het voorhoofd, leverden de beste RPO metingen op.

In deze en andere onderzoeken bleek dat het niet mogelijk is om met RPO gebruik te maken van één enkele ijcurve voor het omzetten van R/IR in  $S_aO_2$ . Het is mogelijk om verschillende R/IR te meten bij gelijk blijvende  $S_aO_2$ , ten gevolge van wisselingen in weefselsamenstelling. Daardoor is RPO (nog) niet bruikbaar voor klinische metingen zoals foetale bewaking. Verder onderzoek moet aantonen of veranderingen of uitbreidingen van de meettechnieken oplossingen bieden.

Door het combineren van signalen die simultaan op twee detectoren worden gemeten, lijkt het mogelijk de variatie in R/IR ten gevolge van variatie in weefseleigenschappen te elimineren. Deze methode is onderzocht door Graaff c.s. in metingen aan de vingertop van volwassenen. Daarbij werd aangetoond dat de variatie in R/IR tussen de individuen gerelateerd is aan de verhouding van de gemiddelde rode en infrarode lichtintensiteiten, gemeten op naast elkaar liggende detectoren (zoals  $R_{det1}/R_{det2}$ ,  $R_{det2}/R_{det3}$ ,  $IR_{det1}/IR_{det2}$ , enz). In combinatie met Monte Carlo simulaties bleek het mogelijk een correctiefactor te berekenen die gebruikt kan worden om de nauwkeurigheid van de omzetting van R/IR in  $S_aO_2$  te vergroten. Deze methode is toepasbaar bij metingen verricht aan de vinger van volwassenen, zonder dat er enige druk op de sensor wordt uitgeoefend. Bij RPO metingen op de kop van foetale lammeren en bij voorhoofdsmetingen bleek deze methode echter niet bruikbaar te zijn.

Een andere benadering om het effect van veranderingen in optische weefseleigenschappen op het rode en infrarode licht te reduceren, is de golflengtes van de lichtbron dichter bij elkaar te kiezen. Nijland c.s. lieten in een recent onderzoek zien dat het mogelijk is om de betrouwbaarheid van RPO metingen, bij lage saturaties, te vergroten door een sensor te gebruiken met LED's die 735 en 890 nm licht uitzenden in plaats van de gebruikelijke 660 en 940 nm. Experimenten om deze sensor te ijken werden verricht bij biggen. Deze experimenten lieten een kleiner verschil in variabiliteit tussen de individuen zien dan metingen uitgevoerd met dezelfde sensor met 660 en 890 nm LED's. Of deze sensor ook betere resultaten geeft bij minder ideale meetomstandigheden, zoals tijdens de bevalling, moet nog onderzocht worden.



Tenslotte, wanneer het al mogelijk is om betrouwbare foetale RPO metingen te verrichten tijdens de bevalling, rest nog de vraag of bewaking van de foetale arteriële zuurstofverzadiging de foetale uitkomst werkelijk zal verbeteren. Immers, het voorkomen van ernstige, langdurige en diepe asfyxie (foetale zuurstofnood) tijdens de bevalling, is dermate zeldzaam dat het noodzakelijk is het effect van de foetale bewaking die nodig is om deze zeldzame gebeurtenissen te voorkomen, degelijk te onderzoeken. Voor de validering van foetale RPO als diagnosticum ter preventie van ernstige foetale en neonatale asfyxie zijn grootschalige klinische onderzoeken nodig. Misschien is het eenvoudiger om een andere belangrijke doelstelling na te streven: het gebruik van RPO om onnodig ingrijpen tijdens de bevalling, zoals het verrichten van een keizersnede, een tang- of vacuüm verlossing, te reduceren. Het lijkt aantrekkelijk om daarbij foetale RPO te combineren met de bewaking van de foetale hartfrequentie (d.m.v. CTG). De continue RPO meting zou dan het MBO kunnen vervangen. Voordat we zover zijn is er nog een lange weg te gaan, om te weten te komen of foetale RPO een werkelijke verbetering van foetale bewaking kan bewerkstelligen.